



45

Practitioner's Docket No.: 791_228

PATENT

IN THE UNITED STATES PATENT AND TRADEMARK OFFICE

In re the application of: Yukihiisa TAKEUCHI, Nobuo TAKAHASHI and
Mutsumi KITAGAWA

Ser. No.: 10/657,842

Group Art Unit: Not Assigned

Filed: September 9, 2003

Examiner: Not Assigned

Conf. No.: Not Assigned

For: PIEZOELECTRIC/ELECTROSTRICTIVE FILM TYPE ACTUATOR AND
METHOD OF MANUFACTURING THE ACTUATOR

Commissioner for Patents
P.O. Box 1450
Alexandria, VA 22313-1450

I hereby certify that this correspondence is being deposited
with the United States Postal Service as first class mail
addressed to Commissioner for Patents, P.O. Box 1450,
Alexandria, VA 22313-1450 on October 10, 2003.

Elizabeth A. VanAntwerp
Elizabeth A. VanAntwerp

SUBMISSION OF CERTIFIED COPIES OF PRIORITY DOCUMENTS

Sir:

The benefit of the filing dates of the following prior foreign applications filed in the
following foreign country was requested by applicants on September 9, 2003 for the
above-identified application:

<u>Country</u>	<u>Application Number</u>	<u>Filing Date</u>
Japan	2001-068673	March 12, 2001
Japan	2001-114450	April 12, 2001

In support of this claim, certified copies of the Japanese Applications are enclosed
herewith.

October 10, 2003
Date

Respectfully submitted,

Stephen P. Burr
Stephen P. Burr
Reg. No. 32,970

SPB/eav

BURR & BROWN
P.O. Box 7068
Syracuse, NY 13261-7068

Customer No.: 25191
Telephone: (315) 233-8300
Facsimile: (315) 233-8320

日 本 国 特 許 庁
JAPAN PATENT OFFICE

別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office.

出 願 年 月 日 2 0 0 1 年 3 月 1 2 日
Date of Application:

出 願 番 号 特 願 2 0 0 1 - 0 6 8 6 7 3
Application Number:
[ST. 10/C] : [J P 2 0 0 1 - 0 6 8 6 7 3]

出 願 人 日 本 碍 子 株 式 有 限 公 司
Applicant(s):

2 0 0 3 年 9 月 2 4 日

特許庁長官
Commissioner,
Japan Patent Office

今 井 康 夫



出証番号 出証特 2 0 0 3 - 3 0 7 8 3 0 5

【書類名】 特許願

【整理番号】 WP03582

【提出日】 平成13年 3月12日

【あて先】 特許庁長官 及川 耕造 殿

【国際特許分類】 H01L 41/09
B41J 2/045

【発明の名称】 圧電／電歪膜型アクチュエータ及び製造方法

【請求項の数】 29

【発明者】

 【住所又は居所】 愛知県名古屋市瑞穂区須田町 2 番 5 6 号 日本碍子株式会社内

 【氏名】 武内 幸久

【発明者】

 【住所又は居所】 愛知県名古屋市瑞穂区須田町 2 番 5 6 号 日本碍子株式会社内

 【氏名】 高橋 伸夫

【発明者】

 【住所又は居所】 愛知県名古屋市瑞穂区須田町 2 番 5 6 号 日本碍子株式会社内

 【氏名】 北川 睦

【特許出願人】

 【識別番号】 000004064

 【氏名又は名称】 日本碍子株式会社

【代理人】

 【識別番号】 100088616

 【弁理士】

 【氏名又は名称】 渡邊 一平

【手数料の表示】

【予納台帳番号】 009689

【納付金額】 21,000円

【提出物件の目録】

【物件名】 明細書 1

【物件名】 図面 1

【物件名】 要約書 1

【包括委任状番号】 9001231

【プルーフの要否】 要

【書類名】 明細書

【発明の名称】 圧電／電歪膜型アクチュエータ及び製造方法

【特許請求の範囲】

【請求項 1】 セラミックス基体と、前記セラミックス基体上に設けられ圧電／電歪膜と電極膜とからなる圧電／電歪素子と、を備え、前記圧電／電歪素子の変位により駆動する圧電／電歪膜型アクチュエータであって、

前記圧電／電歪素子は、その最上層及び最下層が前記電極膜になるように、前記圧電／電歪膜と前記電極膜とが交互に積層されてなり、前記圧電／電歪膜を複数層有することを特徴とする圧電／電歪膜型アクチュエータ。

【請求項 2】 前記圧電／電歪素子が、前記圧電／電歪膜を 2 乃至 4 層有する請求項 1 に記載の圧電／電歪膜型アクチュエータ。

【請求項 3】 前記圧電／電歪素子において、下から n 番目の前記圧電／電歪膜の厚さ t_n が、次式

$$t_n \leq t_{n-1} \times 0.95$$

を満たす請求項 1 又は 2 に記載の圧電／電歪膜型アクチュエータ。

【請求項 4】 前記圧電／電歪膜の 1 層当たりの厚さが、 $30 \mu\text{m}$ 以下である請求項 1 ～ 3 の何れか一項に記載の圧電／電歪膜型アクチュエータ。

【請求項 5】 前記圧電／電歪膜の少なくとも一層が、電気泳動堆積法により形成される請求項 1 ～ 4 の何れか一項に記載の圧電／電歪膜型アクチュエータ。

【請求項 6】 2 以上の複数の前記圧電／電歪素子が、同一の前記セラミックス基体上に配列されてなる請求項 1 ～ 5 の何れか一項に記載の圧電／電歪膜型アクチュエータ。

【請求項 7】 前記セラミックス基体の内部にはキャビティが形成され、前記圧電／電歪素子が前記キャビティの壁部の一部を変形させて、前記キャビティを加圧せしめる請求項 1 ～ 6 の何れか一項に記載の圧電／電歪膜型アクチュエータであって、

前記セラミックス基体が、複数層の薄板を集成してなる圧電／電歪膜型アクチュエータ。

【請求項 8】 前記セラミックス基体が、2 乃至 3 層の薄板を集成してなる請求

項 7 に記載の圧電／電歪膜型アクチュエータ。

【請求項 9】 前記セラミックス基体の薄肉厚部の厚さが、 $50\text{ }\mu\text{m}$ 以下である請求項 7 又は 8 に記載の圧電／電歪膜型アクチュエータ。

【請求項 10】 前記セラミックス基体が、酸化ジルコニウム、酸化アルミニウム、酸化マグネシウム、窒化アルミニウム、窒化珪素の何れかを主成分とする材料からなる請求項 1 ～ 9 の何れか一項に記載の圧電／電歪膜型アクチュエータ。

【請求項 11】 前記セラミックス基体が、部分安定化酸化ジルコニウム若しくは完全安定化酸化ジルコニウムの何れかを主成分とする材料からなる請求項 1 ～ 9 の何れか一項に記載の圧電／電歪膜型アクチュエータ。

【請求項 12】 インクジェットプリンタに備わるプリンタヘッドのインクポンプとして使用される請求項 1 ～ 11 の何れか一項に記載の圧電／電歪膜型アクチュエータ。

【請求項 13】 セラミックス基体と、前記セラミックス基体上に設けられ圧電／電歪膜と電極膜とからなる圧電／電歪素子とからなり、

前記セラミックス基体の内部にはキャビティが形成され、前記圧電／電歪素子が前記キャビティの壁部の一部を変形させて、前記キャビティを加圧せしめる圧電／電歪膜型アクチュエータであって、

基体となる少なくとも 1 枚のグリーンシートと、少なくとも 1 個の孔部が形成された 1 枚若しくは複数枚のグリーンシートと、からなるグリーンシート積層体を用意し、前記グリーンシート積層体を焼成してセラミックス積層体を得て、

得られた前記セラミックス積層体の外表面に膜形成法により電極膜 (A) を形成した後に、

前記電極膜 (A) の上に膜形成法により圧電／電歪膜 (A) を形成し、更に、前記圧電／電歪膜 (A) の上に膜形成法により電極膜 (B) を形成し、この圧電／電歪膜 (A) の形成及び電極膜 (B) の形成を、1 回若しくは複数回繰り返した後に、

前記電極膜 (B) の上に膜形成法により圧電／電歪膜 (B) を形成し、更に、前記圧電／電歪膜 (B) の上に膜形成法により電極膜 (C) を形成し

圧電／電歪膜又は／及び電極膜の焼成が、前記電極膜 (A) を形成した後から

、前記電極膜（C）を形成した後の間において、任意のときに所望の回数行われる方法によって作製されることを特徴とする圧電／電歪膜型アクチュエータ。

【請求項 14】 n 回目に形成される圧電／電歪膜の厚さ t_n が、次式

$$t_n \leq t_{n-1} \times 0.95$$

を満たす請求項 13 に記載の圧電／電歪膜型アクチュエータ。

【請求項 15】 前記電極膜（B）形成後に焼成温度 T_{m1} （℃）で焼成され、前記圧電／電歪膜（B）形成後に焼成温度 T_{m2} （℃）で焼成される場合において、次式

$$0 \leq T_{m2} - T_{m1} \leq 300$$

を満たす請求項 13 又は 14 に記載の圧電／電歪膜型アクチュエータ。

【請求項 16】 前記圧電／電歪膜及び電極膜が、1 層当たり複数回の前記膜形成法が施されて形成される請求項 13～15 の何れか一項に記載の圧電／電歪膜型アクチュエータ。

【請求項 17】 前記膜形成法として、スクリーン印刷法、ディッピング法、塗布法、電気泳動堆積法の群から選ばれる少なくとも一種の厚膜形成法が用いられる請求項 13～16 の何れか一項に記載の圧電／電歪膜型アクチュエータ。

【請求項 18】 前記圧電／電歪膜の膜形成法として、初回にスクリーン印刷法が用いられ、2 回目以降は電気泳動堆積法が用いられる請求項 13～16 の何れか一項に記載の圧電／電歪膜型アクチュエータ。

【請求項 19】 前記少なくとも 1 個の孔部が形成されたグリーンシートが、2 乃至 3 枚積層される請求項 13 に記載の圧電／電歪膜型アクチュエータ。

【請求項 20】 インクジェットプリンタに備わるプリンタヘッドのインクポンプとして使用される請求項 13～19 の何れか一項に記載の圧電／電歪膜型アクチュエータ。

【請求項 21】 セラミックス基体と、前記セラミックス基体上に設けられ、圧電／電歪膜と電極膜とからなる圧電／電歪素子とからなり、

前記セラミックス基体の内部にはキャビティが形成され、前記圧電／電歪素子が前記キャビティの壁部の一部を変形させて、前記キャビティを加圧せしめる圧電／電歪膜型アクチュエータの製造方法であって、

基体となる少なくとも 1 枚のグリーンシートと、少なくとも 1 個の孔部が形成された少なくとも 1 枚のグリーンシートと、からなるグリーンシート積層体を用意し、前記グリーンシート積層体を焼成してセラミックス積層体とする工程 A と、

得られたセラミックス積層体の外表面に膜形成法により電極膜 (A) を形成する工程 B と、

前記電極膜 (A) の上に膜形成法により圧電／電歪膜 (A) を形成する工程 C と、更に前記圧電／電歪膜 (A) の上に膜形成法により電極膜 (B) を形成する工程 D とを含み、前記工程 C 及び工程 D を、1 回若しくは複数回繰り返し行った後に、

前記電極膜 (B) の上に膜形成法により圧電／電歪膜 (B) を形成する工程 E と、更に、前記圧電／電歪膜 (B) の上に膜形成法により電極膜 (C) を形成する工程 F とを含み、

圧電／電歪膜又は／及び電極膜の焼成が、前記電極膜 (A) を形成した後から、前記電極膜 (C) を形成した後の間において、任意のときに所望の回数行われることを特徴とする圧電／電歪膜型アクチュエータの製造方法。

【請求項 22】 n 回目に形成される圧電／電歪膜の厚さ t_n が、次式

$$t_n \leq t_{n-1} \times 0.95$$

を満たす請求項 21 に記載の圧電／電歪膜型アクチュエータの製造方法。

【請求項 23】 前記電極膜 (B) 形成後に焼成温度 T_{m1} (°C) で焼成され、前記圧電／電歪膜 (B) 形成後に焼成温度 T_{m2} (°C) で焼成される場合において、次式

$$0 \leq T_{m2} - T_{m1} \leq 300$$

を満たす請求項 21 又は 22 に記載の圧電／電歪膜型アクチュエータの製造方法。

【請求項 24】 前記圧電／電歪膜及び電極膜が、1 層当たり複数回の前記膜形成法が施されて形成される請求項 21～23 の何れか一項に記載の圧電／電歪膜型アクチュエータの製造方法。

【請求項 25】 前記膜形成法として、スクリーン印刷法、ディッピング法、塗

布法、電気泳動堆積法の群から選ばれる少なくとも一種の厚膜形成法が用いられる請求項 2 1 ～ 2 4 の何れか一項に記載の圧電／電歪膜型アクチュエータの製造方法。

【請求項 2 6】 前記圧電／電歪膜の膜形成法として、初回にスクリーン印刷法が用いられ、2 回目以降は電気泳動堆積法が用いられる請求項 2 1 ～ 2 4 の何れか一項に記載の圧電／電歪膜型アクチュエータの製造方法。

【請求項 2 7】 前記工程 A が、
基体となるグリーンシートに、前記少なくとも 1 個の孔部が形成されたグリーンシートを 1 枚若しくは複数枚積層したものを用意する工程を含むものである請求項 2 1 に記載の圧電／電歪膜型アクチュエータの製造方法。

【請求項 2 8】 前記少なくとも 1 個の孔部が形成されたグリーンシートが、2 乃至 3 枚積層される請求項 2 7 に記載の圧電／電歪膜型アクチュエータの製造方法。

【請求項 2 9】 アクチュエータが、インクジェットプリンタに備わるプリンタヘッドのインクポンプとして使用される請求項 2 1 ～ 2 8 の何れか一項に記載の圧電／電歪膜型アクチュエータの製造方法。

【発明の詳細な説明】

【0 0 0 1】

【発明の属する技術分野】 本発明は、圧電／電歪アクチュエータに関する。より詳細には、変位制御素子、個体素子モータ、インクジェットヘッド、リレー、スイッチ、シャッター、ポンプ、フィン等に用いられ、素子の変位に基づいて作動し、機械エネルギーと電気エネルギーとを変換し得る、膜型のトランスデューサであって、素子部のアスペクト比をより容易に高く出来、より高速な応答とより高いエネルギー変換効率を実現した圧電／電歪膜型アクチュエータに関する。

【0 0 0 2】

【従来の技術】 近年、アクチュエータの基体内部に形成した加圧室内の圧力を上昇させる機構の一つとして、加圧室壁に設けた圧電／電歪素子の変位によって、該加圧室の体積を変化させるようにしたものが知られている。そして、そのような圧電／電歪アクチュエータは、例えばインクジェットプリンタに使用される

プリントヘッドのインクポンプ等として利用されており、インクが供給され、充填された加圧室内の圧力を圧電／電歪素子の変位によって上昇させることにより、加圧室に連通するノズル孔からインク粒子（液滴）を打ち出して、印字するようになっている。

【0003】 例えば、特開平6-40035号公報には、図4及び図5に示すような圧電／電歪アクチュエータを用いたインクジェットプリントヘッドの一例が開示されている。

【0004】 インクジェットプリントヘッド140は、インクノズル部材142と圧電／電歪膜型アクチュエータ145とが接合一体化されることによって形成されており、圧電／電歪膜型アクチュエータ145内に形成されたキャビティ146に供給されたインクが、インクノズル部材142に設けられたノズル孔154を通じて、噴出されるようになっている。

【0005】 より詳細には、圧電／電歪膜型アクチュエータ145は、セラミックス基体144とセラミックス基体144に一体的に形成された圧電／電歪素子178とからなる。又、セラミックス基体144は、それぞれ薄肉の平板形状を呈する閉塞プレート166と接続プレート168が、スペーサプレート170を挟んで重ね合わされてなる構造をもって、一体的に形成されている。

【0006】 そこにおいて、接続プレート168には、インクノズル部材142のオリフィスプレート150に形成された通孔156及びオリフィス孔158に対応する位置に、第一の連通用開口部172及び第二の連通用開口部174が、それぞれ形成されている。尚、第一の連通用開口部172は、通孔156と略同一乃至若干大きめの内径とされている一方、第二の連通用開口部174は、オリフィス孔158よりも所定寸法大径とされている。

【0007】 又、スペーサプレート170には、長手矩形状の窓部176が、複数個、形成されている。そして、それら各窓部176に対して、接続プレート168に設けられた各一つの第一の連通用開口部172及び第二の連通用開口部174が開口せしめられるように、かかるスペーサプレート170が、接続プレート168に対して重ね合わされている。

【0008】 更に、このスペーサプレート170における、接続プレート16

8が重ね合わされた側とは反対側の面には、閉塞プレート166が重ね合わされており、この閉塞プレート166にて、窓部176の開口が覆蓋されている。それによって、かかるセラミックス基体144の内部には、第一及び第二の連通用開口部172、174を通じて外部に連通されたキャビティ146が、形成されている。

【0009】 しかしながら、そのような圧電／電歪膜型アクチュエータ145にあつては、より大きな液滴を打ち出せるように大きな変位を得るためには、閉塞プレート166（振動板）の厚さを薄く、又、長手矩形状の窓部176（キャビティ）の短手方向の幅を広くするのが有効であるが、そうすると剛性が低下して高速応答性が損なわれるという問題があつた。

【0010】 一方、より優れた高速応答性を得るためには剛性を高める必要があり、閉塞プレート166（振動板）の厚さを厚く、又、長手矩形状の窓部176（キャビティ）の短手方向の幅を狭くするのが有効であるが、そうすると変位が小さくなり必要量の液滴を打ち出せないという問題があつた。即ち、圧電／電歪アクチュエータの更なる高性能化の要求の中で、寸法の最適化のみによって大変位と高速応答性を両立させていくことは困難であつた。

【0011】

【発明が解決しようとする課題】 本発明は、このような従来技術の問題点に鑑みてなされたものであつて、その目的とするところは、接着剤を用いて積層した構造を持たずに、容易に高集積化が可能であり、同一駆動電圧で、より大きな変位が得られ、応答速度が速く、発生力が大きい、優れた圧電／電歪膜型アクチュエータと、その製造方法を提供することにある。

【0012】

【課題を解決するための手段】 即ち、本発明によれば、セラミックス基体と、セラミックス基体上に設けられ、圧電／電歪膜と電極膜とからなる圧電／電歪素子とを備え、圧電／電歪素子の変位により駆動する圧電／電歪膜型アクチュエータであつて、圧電／電歪素子は、その最上層及び最下層が前記電極膜になるように、圧電／電歪膜と電極膜とが交互に積層されてなり、圧電／電歪膜を複数層有することを特徴とする圧電／電歪膜型アクチュエータが提供される。圧電／電歪

素子は、圧電／電歪膜を 2～4 層有することが好ましい。

【0013】 本発明の圧電／電歪膜型アクチュエータの圧電／電歪素子においては、下から n 番目の圧電／電歪膜の厚さ t_n が、次式

$$t_n \leq t_{n-1} \times 0.95$$

を満たすことが好ましい。又、圧電／電歪膜の 1 層当たりの厚さは、 $30 \mu\text{m}$ 以下であることが好ましい。

【0014】 本発明においては、圧電／電歪膜の少なくとも一層が、電気泳動堆積法により形成されることが好ましい。又、2 以上の複数の圧電／電歪素子が、同一のセラミックス基体上に配列されてなることが好ましい。

【0015】 上記した圧電／電歪膜型アクチュエータにおいて、セラミックス基体の内部にキャビティが形成され、圧電／電歪素子がキャビティの壁部の一部を変形させて、キャビティを加圧せしめる機構を付与したときに、セラミックス基体は、複数層の薄板を集成してなることが好ましい。より好ましくは、セラミックス基体を、2～3 層の薄板を集成して得ることである。又、このとき、セラミックス基体の薄肉厚部の厚さは、 $50 \mu\text{m}$ 以下であることが好ましい。

【0016】 本発明においては、セラミックス基体には、酸化ジルコニウム、酸化アルミニウム、酸化マグネシウム、窒化アルミニウム、窒化珪素の何れかを主成分とする材料を好適に用いることが出来る。酸化ジルコニウムは、より詳細には、部分安定化酸化ジルコニウム、若しくは、完全安定化酸化ジルコニウムが、高強度、高靱性という点で好ましい。

【0017】 本発明の圧電／電歪膜型アクチュエータは、インクジェットプリンタに備わるプリンタヘッドのインクポンプとして好適に用いることが出来る。

【0018】 次に、本発明によれば、セラミックス基体と、セラミックス基体上に設けられ、圧電／電歪膜と電極膜とからなる圧電／電歪素子とからなり、セラミックス基体の内部にはキャビティが形成され、圧電／電歪素子がキャビティの壁部の一部を変形させて、キャビティを加圧せしめる圧電／電歪膜型アクチュエータであって、基体となる少なくとも 1 枚のグリーンシートと、少なくとも 1 個の孔部が形成された 1 枚若しくは複数枚のグリーンシートとからなるグリーンシート積層体を用意し、グリーンシート積層体を焼成してセラミックス積層体を

得て、得られたセラミックス積層体の外表面に膜形成法により電極膜（A）を形成した後に、電極膜（A）の上に膜形成法により圧電／電歪膜（A）を形成し、更に、圧電／電歪膜（A）の上に膜形成法により電極膜（B）を形成し、この圧電／電歪膜（A）の形成及び電極膜（B）の形成を、1回若しくは複数回繰り返した後に、電極膜（B）の上に膜形成法により圧電／電歪膜（B）を形成し、更に、圧電／電歪膜（B）の上に膜形成法により電極膜（C）を形成し、圧電／電歪膜又は／及び電極膜の焼成が、電極膜（A）を形成した後から、電極膜（C）を形成した後の間において、任意のときに所望の回数行われる方法によって作製されることを特徴とする圧電／電歪膜型アクチュエータが提供される。

【0019】 本発明においては、 n 回目に形成される圧電／電歪膜の厚さ t_n が、次式、

$$t_n \leq t_{n-1} \times 0.95$$

を満たすことが好ましい。

又、電極膜（B）を形成した後に焼成温度 T_{m1} （℃）で焼成され、圧電／電歪膜（B）を形成した後に焼成温度 T_{m2} （℃）で焼成される場合において、次式、

$$0 \leq T_{m2} - T_{m1} \leq 300$$

が満たされることが好ましい。

【0020】 上記した方法によって作製される圧電／電歪膜型アクチュエータでは、圧電／電歪膜及び電極膜を、1層当たり複数回の膜形成法を施して、形成することが可能であり、又、膜形成法としては、スクリーン印刷法、ディッピング法、塗布法、電気泳動堆積法の群から選ばれる少なくとも一種の厚膜形成法を用いることが出来る。更には、圧電／電歪膜の膜形成法としては、初回にスクリーン印刷法を用い、2回目以降に電気泳動堆積法を用いることも好ましい。

【0021】 又、上記した方法によって作製される圧電／電歪膜型アクチュエータにおいては、少なくとも1個の孔部が形成されたグリーンシートが、2～3枚積層されることが好ましい。

上記した方法によって作製される圧電／電歪膜型アクチュエータは、インクジェットプリンタに備わるプリンタヘッドのインクポンプとして好適に用いること

が出来る。

【0022】 更に続いて、本発明によれば、セラミックス基体と、セラミックス基体上に設けられ、圧電／電歪膜と電極膜とからなる圧電／電歪素子とからなり、セラミックス基体の内部にはキャビティが形成され、圧電／電歪素子がキャビティの壁部の一部を変形させて、キャビティを加圧せしめる圧電／電歪膜型アクチュエータの製造方法であって、基体となる少なくとも1枚のグリーンシートと、少なくとも1個の孔部が形成された少なくとも1枚のグリーンシートとからなるグリーンシート積層体を用意し、グリーンシート積層体を焼成してセラミックス積層体とする工程Aと、得られたセラミックス積層体の外表面に膜形成法により電極膜（A）を形成する工程Bと、電極膜（A）の上に膜形成法により圧電／電歪膜（A）を形成する工程Cと、更に、圧電／電歪膜（A）の上に膜形成法により電極膜（B）を形成する工程Dと、工程C及び工程Dを、1回若しくは複数回繰り返した後に、電極膜（B）の上に膜形成法により圧電／電歪膜（B）を形成する工程Eと、更に、圧電／電歪膜（B）の上に膜形成法により電極膜（C）を形成する工程Fとを含み、圧電／電歪膜又は／及び電極膜の焼成が、電極膜（A）を形成した後から、電極膜（C）を形成した後の間において、任意のときに所望の回数行われることを特徴とする圧電／電歪膜型アクチュエータの製造方法が提供される。

【0023】 本発明においては、 n 回目に形成される圧電／電歪膜の厚さ t_n が、次式、

$$t_n \leq t_{n-1} \times 0.95$$

を満たすことが好ましい。

又、電極膜（B）を形成した後に焼成温度 T_{m1} （℃）で焼成され、圧電／電歪膜（B）を形成した後に焼成温度 T_{m2} （℃）で焼成される場合において、次式、

$$0 \leq T_{m2} - T_{m1} \leq 300$$

が満たされることが好ましい。

【0024】 本発明の製造方法においては、圧電／電歪膜及び電極膜を、1層当たり複数回の膜形成法を施して形成することが出来る。又、膜形成法として、

スクリーン印刷法、ディッピング法、塗布法、電気泳動堆積法の群から選ばれる少なくとも一種の厚膜形成法を用いることが出来る。更に、圧電／電歪膜の膜形成法として、初回にスクリーン印刷法を用い、2回目以降に電気泳動堆積法を用いることも可能である。

【0025】 本発明の製造方法においては、工程Aが、基体となるグリーンシートに、少なくとも1個の孔部が形成されたグリーンシートを1枚若しくは複数枚積層したものを用意する処理を含むものであることが好ましく、少なくとも1個の孔部が形成されたグリーンシートが、2～3枚積層されることが、より好ましい。

【0026】 本発明の製造方法により得られる圧電／電歪膜型アクチュエータは、インクジェットプリンタに備わるプリンタヘッドのインクポンプとして好適に用いることが可能である。

【0027】

【発明の実施の形態】 以下、本発明の圧電／電歪膜型アクチュエータについて実施の形態を具体的に説明するが、本発明は、これらに限定されて解釈されるものではなく、本発明の範囲を逸脱しない限りにおいて、当業者の知識に基づいて、種々の変更、修正、改良を加え得るものである。

【0028】 本発明は、圧電／電歪素子の変位により駆動する圧電／電歪膜型アクチュエータに関する発明である。本発明の圧電／電歪膜型アクチュエータの構造は、セラミックス基体と、そのセラミックス基体上に設けられた圧電／電歪素子からなり、更に、その圧電／電歪素子は、圧電／電歪膜と電極膜とから構成される。

【0029】 本発明においては、圧電／電歪素子が、その最上層及び最下層が電極膜になるように、圧電／電歪膜と電極膜とが交互に積層されてなっていて、好ましくは圧電／電歪膜を2～4層有するところに特徴がある。このような、基体上に圧電／電歪膜と電極膜とを層状に積層してなる圧電／電歪膜型アクチュエータにおいては、圧電／電歪膜の1層当たりの厚さを、例えば30 μ m以下と薄くした薄膜状の圧電／電歪素子とすることが出来、且つ、積層することによって厚い、高アスペクト比の圧電／電歪素子とすることが出来る。従って、1層当た

りの厚さが同じで、圧電／電歪膜が1層だけの圧電／電歪素子と比較すると、屈曲変位する部分に高い剛性が得られることにより応答速度が高まり、又、複数の圧電／電歪膜が駆動されるので、全体として大きな発生力が得られ、高剛性でありながら相対的に大きな変位を得ることが出来る。又、圧電／電歪素子トータルの厚さが同じで、1層当たりの厚さが厚い、圧電／電歪膜が1層だけの圧電／電歪素子と比較すると、同一駆動電圧でも電界強度が高くなり、相対的により大きな変位と発生力を得ることが出来る。更には、2以上の複数の圧電／電歪素子を、同一の基体上に配列することが、より容易となり、高集積化を図ることが出来る。

【0030】 本発明においては、又、基体となるセラミックス積層体の外表面に膜形成法により電極膜を形成し、その電極膜の上に膜形成法により圧電／電歪膜を形成し、更に、その圧電／電歪膜の上に膜形成法により電極膜を形成し、これら圧電／電歪膜と電極膜の形成を好ましくは複数回繰り返し行い、圧電／電歪膜と電極膜を焼成によって、即ち、熱処理によって一体化し、製造するところにも特徴がある。従来のバイモルフ型等のアクチュエータで採用されたような薄板を接着して一体化する方法を用いていないので、長期使用の安定性に優れ、信頼性が高く、変位量のドリフトを、より抑えることが出来る。圧電／電歪膜と電極膜を焼成するタイミングは限定されるものではなく、最初の電極膜を形成した後から、最後の電極膜を形成した後の間において、任意のときに所望の回数行って構わない。

【0031】 本発明においては、更に、圧電／電歪膜の少なくとも1層を、好ましくは電気泳動堆積法により形成するところにも特徴がある。原料粒子、例えばセラミックス粒子を含むスラリーに電界をかけて、その原料粒子を所定の場所へ堆積させられる電気泳動堆積法を用いれば、高密度に且つ高い形状精度で、自動的に電極上へ圧電／電歪膜を形成することが可能となり、特に、より微細な配列パターンのときに、あるいは、より高いアスペクト比の膜形成のときに、精度よく量産することが出来る。又、例えば、スクリーン印刷を用いるときのようなアライメントや、基体の焼成収縮率の違いに応じた印刷製版の準備及び管理が不要となり、工程が省け、より省マンパワーとなる。

【0032】 以下、本発明の圧電／電歪膜型アクチュエータを、図面を参照しながら説明する。

先ず、実施態様について説明する。

図1及び図2は、本発明の圧電／電歪膜型アクチュエータにかかる実施態様の一例を示す断面図である。又、図3は、本発明の圧電／電歪膜型アクチュエータの構造を説明するための分解斜視図である。

図2に示す圧電／電歪膜型アクチュエータ21は、セラミックス基体44と、セラミックス基体44と一体的に形成された圧電／電歪素子78からなる。又、セラミックス基体44は、薄い平板状の閉塞プレート66と接続プレート68とが、スペーサプレート70を介して重ね合わせられる構造を呈している。

【0033】 接続プレート68には、連通用孔部72、74が形成されている。又、スペーサプレート70には、図3に示すように、水平断面形状が概ね矩形である開口部76が複数個形成されている。そして、各々の開口部76に対して、連通用孔部72、74がそれぞれ開口するように、スペーサプレート70が接続プレート68に重ね合わせられる。

【0034】 スペーサプレート70において、接続プレート68が重ね合わさる面と反対側の面には、閉塞プレート66が重ね合わせられていて、この閉塞プレート66がスペーサプレート70の開口部76を覆蓋している。このようにして、セラミックス基体44の内部には、図2に示すような連通用孔部72、74を通じて外部と連通するキャビティ46が、同一のセラミックス基体内部に複数個形成されている。

【0035】 図1に示す圧電／電歪膜型アクチュエータ11は、上記した圧電／電歪膜型アクチュエータ21から接続プレート68を省いた構造をなしている。即ち、圧電／電歪膜型アクチュエータ11は薄いセラミックスの薄板を2層重ねてなり、圧電／電歪膜型アクチュエータ21は薄いセラミックスの薄板を3層重ねてなる基体を有している。後述するような製造工程を経て製造されるため、歩留まり向上のためには、圧電／電歪膜型アクチュエータ21の様な3層構造が、より好ましい。

【0036】 即ち、焼成して基体となるグリーンシートは柔軟性を有するため

、もともと取り扱いが難しく、例えば、焼成炉への搬入時において支持方法を慎重に行わないと、自重によって歪みが生じ破損したり、焼成後に変形したりし易いといった問題を抱えている。従って、接続プレート 68 を備える 3 層構造の圧電／電歪膜型アクチュエータ 21 の方が、積層したグリーンシートにおいて、より剛性が高められるため、接続プレート 68 のない 2 層構造の圧電／電歪膜型アクチュエータ 11 に比べて取り扱いが容易で、取り扱いに起因する不良品の発生を抑えることが出来る。更に、セラミックス基体 44 の内部にキャビティ 46 を高密度に配置したときに、2 層構造では殆ど取扱不能となる場合においても、接続プレート 68 を備える 3 層構造の圧電／電歪膜型アクチュエータ 21 では、取り扱いが可能となる。

【0037】 圧電／電歪膜型アクチュエータ 11, 21 においては、上記したセラミックス基体 44 の閉塞プレート 66 の外面には、好ましくは複数個備わるキャビティ 46 に対応する位置に、それぞれ圧電／電歪素子 78 が、複数個設けられている。圧電／電歪素子 78 は、閉塞プレート 66 上に、下から順に、下部の電極膜 77、圧電／電歪膜 79、中間の電極膜 73、圧電／電歪膜 79、上部の電極膜 75 からなり、膜形成法によって形成される。

【0038】 このような構造の圧電／電歪膜型アクチュエータ 11, 21 において、下から奇数番目の電極膜（下部の電極膜 77 と上部の電極膜 75）と偶数番目の電極膜（中間の電極膜 73）との間に従来と同様に通電すれば、それぞれの圧電／電歪膜 79 に電界作用が生じ、その電界に基づき圧電／電歪膜 79 の電界誘起歪みが誘起されて、その横効果によってセラミックス基体 44 に垂直方向の屈曲変位や発生力が発現せしめられる。

【0039】 圧電／電歪膜型アクチュエータ 11, 21 のように、2 層の圧電／電歪膜 79 を含む全 5 層に積層することによって、水平方向の幅に対して垂直方向の高さの比が大きい、所謂高アスペクト比の圧電／電歪素子を形成することが容易になる。高アスペクト比の圧電／電歪素子では、屈曲変位する部分に高い剛性が得られることにより応答速度が高まり、又、複数の圧電／電歪膜が駆動されるので、全体として大きな発生力が得られ、高剛性でありながら相対的に大きな変位を得ることが出来る。

【0040】 図7及び図6は、本発明の圧電／電歪膜型アクチュエータの更に他の実施態様を示す断面図である。

図7に示す圧電／電歪膜型アクチュエータ71は、圧電／電歪膜型アクチュエータ11の圧電／電歪素子78が圧電／電歪膜79を2層有するのに対して、1層増やして3層にしたものであり、図6に示す圧電／電歪膜型アクチュエータ81は、圧電／電歪膜型アクチュエータ21の圧電／電歪素子78が圧電／電歪膜79を2層有するのに対して、1層増やして3層にしたものである。3層の圧電／電歪膜79を含む全7層に積層することによって、更に高アスペクト比な圧電／電歪素子が形成され、屈曲変位する部分に更に高い剛性が得られることにより、更に応答速度が高まり、又、更に大きな発生力が得ることが出来、高剛性でありながら相対的に大きな変位を得ることが出来る。

【0041】 図8～図23は、本発明の圧電／電歪膜型アクチュエータの一実施態様を示す図であり、圧電／電歪膜の短手方向から見た断面図である。

図8に示す圧電／電歪膜型アクチュエータ108は、下部の電極膜77及び圧電／電歪膜79の幅が、キャビティ46の幅よりも10パーセント以上狭い、標準的な形態の圧電／電歪膜型アクチュエータである。図9に示す圧電／電歪膜型アクチュエータ109は、圧電／電歪膜型アクチュエータ108の圧電／電歪素子78が圧電／電歪膜79を2層有するのに対して、1層増やして3層にしたものである。

【0042】 図10に示す圧電／電歪膜型アクチュエータ110は、下部の電極膜77及び圧電／電歪膜79の幅が、キャビティ46の幅よりも、数パーセントだけ狭い圧電／電歪膜型アクチュエータである。圧電／電歪膜型アクチュエータ108よりも高剛性で変位も大きいのが、製造の際には、下部の電極膜の正確な位置決めが必要であり、稍、生産性に劣る。図11に示す圧電／電歪膜型アクチュエータ111は、圧電／電歪膜型アクチュエータ110の圧電／電歪素子78が圧電／電歪膜79を2層有するのに対して、1層増やして3層にしたものである。

【0043】 図12に示す圧電／電歪膜型アクチュエータ112は、下部の電極膜77の幅のみがキャビティ46の幅よりも広い圧電／電歪膜型アクチュエー

タである。圧電／電歪膜型アクチュエータ 110 よりも、更に高剛性であるが、変位の面では若干不利である。図 13 に示す圧電／電歪膜型アクチュエータ 113 は、圧電／電歪膜型アクチュエータ 112 の圧電／電歪素子 78 が圧電／電歪膜 79 を 2 層有するのに対して、1 層増やして 3 層にしたものである。

【0044】 図 14 に示す圧電／電歪膜型アクチュエータ 114 は、下部の電極膜 77 と 1 層目の圧電／電歪膜 79 の幅のみがキャビティ 46 の幅よりも広い圧電／電歪膜型アクチュエータである。圧電／電歪膜型アクチュエータ 112 よりも、更に高剛性であるが、変位の面では若干不利である。図 15 に示す圧電／電歪膜型アクチュエータ 115 は、圧電／電歪膜型アクチュエータ 114 の圧電／電歪素子 78 が圧電／電歪膜 79 を 2 層有するのに対して、1 層増やして 3 層にしたものである。

【0045】 図 16 に示す圧電／電歪膜型アクチュエータ 116 は、下部の電極膜 77 と圧電／電歪膜 79 の幅のみがキャビティ 46 の幅よりも広い圧電／電歪膜型アクチュエータである。圧電／電歪膜型アクチュエータ 114 よりも、更に高剛性であるが、変位の面では、更に若干不利である。図 17 に示す圧電／電歪膜型アクチュエータ 117 は、圧電／電歪膜型アクチュエータ 116 の圧電／電歪素子 78 が圧電／電歪膜 79 を 2 層有するのに対して、1 層増やして 3 層にしたものである。

【0046】 図 18 に示す圧電／電歪膜型アクチュエータ 118 は、下部の電極膜 77 が隣接する電極膜とつながっていて、下部の電極のパターニングが不要の圧電／電歪膜型アクチュエータである。圧電／電歪膜型アクチュエータ 118 は、圧電／電歪膜型アクチュエータ 112 と、剛性及び変位がほぼ同等である。図 19 に示す圧電／電歪膜型アクチュエータ 119 は、圧電／電歪膜型アクチュエータ 118 の圧電／電歪素子 78 が圧電／電歪膜 79 を 2 層有するのに対して、1 層増やして 3 層にしたものである。

【0047】 図 20 に示す圧電／電歪膜型アクチュエータ 120 は、下部の電極膜 77 及び 1 層目の圧電／電歪膜 79 が隣接する電極膜とつながっている圧電／電歪膜型アクチュエータである。下部の電極及び 1 層目の圧電／電歪膜のパターニングが不要で生産性に優れるが、隣接する圧電／電歪素子との干渉（クロス

トク) は、稍大きい。又、圧電／電歪膜型アクチュエータ 114 より高剛性であるが、変位の面では若干不利である。図 21 に示す圧電／電歪膜型アクチュエータ 121 は、圧電／電歪膜型アクチュエータ 120 の圧電／電歪素子 78 が圧電／電歪膜 79 を 2 層有するのに対して、1 層増やして 3 層にしたものである。

【0048】 図 22 に示す圧電／電歪膜型アクチュエータ 122 は、圧電／電歪膜 79 が台形状に積み重なっており、電極膜 77 の幅も上部にいくほど狭くなっている圧電／電歪膜型アクチュエータである。位置決め精度のマージンが取れることにより、多層構造を比較的容易に作り易いというメリットがある。図 23 に示す圧電／電歪膜型アクチュエータ 123 は、圧電／電歪膜型アクチュエータ 122 の圧電／電歪素子 78 が圧電／電歪膜 79 を 2 層有するのに対して、1 層増やして 3 層にしたものである。

上記した図 8 ～図 23 に示す圧電／電歪膜型アクチュエータにおいては、セラミックス基体 44 には接続プレートを備えていてもよく、接続プレートを省いた構造であっても構わない。又、セラミックス基体 44 上には、通常、2 以上の複数の圧電／電歪素子 78 が配列される。

【0049】 尚、本発明においては、アクチュエータや、その構成要素である各膜の形状や配置は特に限定されるわけではなく、用途に合わせて如何なる形状及び配置であっても構わない。形状は、三角形、四角形等の多角形や、円、楕円等の円形だけでなく、格子状等の特殊形状であってもよい。用途がインクジェットプリンタのプリントヘッドのインクポンプである場合には、例えば、概ね矩形であり同じ形の複数のキャビティ及び圧電／電歪素子が、同一の基体において一定間隔で同一方向に向けて配列されることが好ましい。

【0050】 又、本発明の圧電／電歪膜型アクチュエータにおいては、上記したように、セラミックス基体内に設けられるキャビティとともに、同一のセラミックス基体上に、複数の圧電／電歪素子を配列することが好ましいが、その集積密度は、なるべく高いことが好ましく、例えば、用途がインクジェットプリンタのプリントヘッドのインクポンプである場合には、隣り合うアクチュエータどうしの間隔の最短距離が $1000\mu\text{m}$ 以下であることが好ましい。より好ましくは $500\mu\text{m}$ 以下のピッチである。

【0051】 次いで、本発明の圧電／電歪膜型アクチュエータを構成する各要素について形状、材料等を、個別具体的に説明する。

先ず、セラミックス基体について説明する。

図2に示す圧電／電歪膜型アクチュエータ21において、セラミックス基体44は、可撓性を有する基板状の部材であって、表面に配設した圧電／電歪素子78の変位を受けて撓み、例えば、キャビティ46が変形して、その内部に圧力変動が生じる。セラミックス基体44の形状や材料は、可撓性を有し、撓み変形によって破損しない程度の機械的強度を有するものであれば足り、適宜選択することが出来る。

【0052】 セラミックス基体44の薄肉厚部となる閉塞プレート66の板厚は、好ましくは $50\mu\text{m}$ 以下、より好ましくは $3\sim 12\mu\text{m}$ 程度である。又、接続プレート68の板厚は、好ましくは $10\mu\text{m}$ 以上、より好ましくは $50\mu\text{m}$ 以上であり、更に、スペーサプレート70の板厚は、 $50\mu\text{m}$ 以上とすることが好ましい。

セラミックス基体の形状として、特に矩形形状に限られるものではなく、円形でも構わず、三角形等の四角形以外の多角形でも構わない。

【0053】 セラミックス基体を構成する材料としては、セラミックスを用いることが出来、例えば、酸化ジルコニウム、酸化アルミニウム、酸化マグネシウム、窒化アルミニウム、窒化珪素を、好適に使用出来る。又、酸化ジルコニウムの中でも、完全安定化酸化ジルコニウムを主成分とする材料と部分安定化酸化ジルコニウムを主成分とする材料は、薄肉としても機械的強度が大きいこと、靱性が高いこと、圧電／電歪膜や電極膜の材料との反応性が小さいことから最も好適に採用される。

【0054】 完全安定化酸化ジルコニウムならびに部分安定化酸化ジルコニウムにおいては、以下に示すとおりに安定化处理されたものが好ましい。即ち、酸化ジルコニウムを安定化せしめる化合物としては、酸化イットリウム、酸化イットルビウム、酸化セリウム、酸化カルシウム、及び酸化マグネシウムがあり、少なくともそのうちの一つの化合物を添加、含有せしめることにより、酸化ジルコニウムは部分的にあるいは完全に安定化される。その安定化は一種類の化合物の

添加のみならず、それら化合物を組み合わせることで添加することによっても、目的とする酸化ジルコニウムの安定化は可能である。

【0 0 5 5】 それぞれの化合物の添加量としては、酸化イットリウムや酸化イッテルビウムの場合にあっては、1～30モル%、好ましくは1.5～10モル%、酸化セリウムの場合にあっては、6～50モル%、好ましくは8～20モル%、酸化カルシウムや酸化マグネシウムの場合にあっては、5～40モル%、好ましくは5～20モル%とすることか望ましいが、その中でも特に酸化イットリウムを安定化剤として用いることが好ましく、その場合においては1.5～10モル%、更に好ましくは2～4モル%とすることが望ましい。又、焼結助剤等の添加物としてアルミナ、シリカ、遷移金属酸化物等を0.05～20wt%の範囲で添加することも好ましい。

【0 0 5 6】 上記した機械的強度と安定した結晶相が得られるよう、酸化ジルコニウムの平均結晶粒子径を0.05～3 μ m、好ましくは1 μ m以下とすることが望ましい。又、上記のようにセラミックス基体については、酸化ジルコニウムではない種々のセラミックスも用いることが出来るが、好ましくは、実質的に同一の材料を用いて構成することが、接合部の信頼性、デバイスの強度、製造の煩雑さの低減が図られるので好ましい。

【0 0 5 7】 次に、圧電／電歪素子について説明する。

圧電／電歪素子は、少なくとも圧電／電歪膜と、圧電／電歪膜に電圧を印加させるための一対の電極膜とからなるものであり、図3に示す圧電／電歪膜型アクチュエータ21においては、2層の圧電／電歪膜79と、それらを挟むように、下部の電極膜77、中間の電極膜73、上部の電極膜75から構成されている。少なくとも1層の圧電／電歪膜と、その上下に電極膜を備えるものであればよいが、圧電／電歪膜が2～4層積層された、多層構造の圧電／電歪素子とすることが好ましい。

圧電／電歪素子の形式としては、従来公知の圧電／電歪素子を使用することが出来るが、より発生する変位量の安定性に優れ、軽量化に有利であることが好ましく、本例のような膜状に積層された圧電／電歪素子78は、その点においても好適である。

【0058】 図2に示す圧電／電歪膜型アクチュエータ21の如く、圧電／電歪素子78は、セラミックス基体44の外面側に形成する方がキャビティ46内をより大きく圧力変動させ駆動させることが出来る点において、又、作製し易い点において、好ましいが、必ずしも限定されるわけではなく、セラミックス基体44内のキャビティ46内面側に形成してもよく、双方に形成してもよい。

【0059】 圧電／電歪膜の材料としては、圧電若しくは電歪効果等の電界誘起歪みを起こす材料であれば、問われるものではない。結晶質でも非晶質でもよく、又、半導体やセラミックスや強誘電体セラミックス、あるいは反強誘電体セラミックスを用いることも可能である。用途に応じて適宜選択し採用すればよい。

【0060】 具体的な材料としては、ジルコン酸鉛、チタン酸鉛、マグネシウムニオブ酸鉛、ニッケルニオブ酸鉛、亜鉛ニオブ酸鉛、マンガンニオブ酸鉛、アンチモンズ酸鉛、マンガンタンゲステン酸鉛、コバルトニオブ酸鉛、チタン酸バリウム、チタン酸ナトリウムビスマス、ニオブ酸カリウムナトリウム、タンタル酸ストロンチウムビスマス等を単独であるいは混合物として含有するセラミックスが挙げられる。特に、高い電気機械結合係数と圧電定数を有し、圧電／電歪膜の焼結時におけるセラミックス基体との反応性が小さく、安定した組成のものが得られる点において、ジルコン酸チタン酸鉛（PZT系）、及び、マグネシウムニオブ酸鉛（PMN系）を主成分とする材料、若しくは、チタン酸ナトリウムビスマス为主成分とする材料が好適に用くられる。

【0061】 更に、上記材料に、ランタン、カルシウム、ストロンチウム、モリブデン、タンゲステン、バリウム、ニオブ、亜鉛、ニッケル、マンガン、セリウム、カドミウム、クロム、コバルト、アンチモン、鉄、イットリウム、タンタル、リチウム、ビスマス、スズ等の酸化物等を、単独で若しくは混合して、添加したセラミックスを用いてもよい。例えば、主成分であるジルコン酸鉛とチタン酸鉛及びマグネシウムニオブ酸鉛にランタンやストロンチウムを含有させることにより、坑電界や圧電特性を調整可能となる等の利点を得られる場合がある。

【0062】 圧電／電歪膜の1層当たりの厚さは、より低電圧で大きな変位を得ることが出来るように薄いことが好ましく、100 μ m以下で設計される。よ

り好ましくは $3 \sim 30 \mu\text{m}$ 程度である。又、圧電／電歪膜型アクチュエータの圧電／電歪素子では、複数の圧電／電歪膜を積層する場合に、徐々に薄くして形成することが好ましく、例えば、下から n 番目の圧電／電歪膜の厚さ t_n が、次式 $t_n \leq t_{n-1} \times 0.95$

を満たすように形成することが好ましい。

何故ならば、圧電／電歪膜の歪み量は、印加電界が高い程、即ち、同じ駆動電圧では、圧電／電歪膜の厚さが薄い程大きい。上部に形成される圧電／電歪膜が、下部に形成される圧電／電歪膜より大きく歪むようにすることで、曲げ効率を高め、屈曲変位をより有効に発現することが出来るからである。

【0063】 図1、図2、図6、及び、図7における本発明の圧電／電歪膜型アクチュエータ11、21、71、81に用いる圧電／電歪膜は、求められるアクチュエータ特性より、圧電定数で、 $|d_{31}|$ が $50 \times 10^{-12} \text{m/V}$ 以上である膜が好ましい。より好ましくは、 $|d_{31}|$ が $100 \times 10^{-12} \text{m/V}$ 以上の膜である。

【0064】 圧電／電歪素子の電極膜の材料については、室温で固体であり、後述する製造工程に示す焼成温度程度の高温酸化雰囲気能耐えられ、導電性に優れた金属で構成されていることが好ましい。例えば、アルミニウム、チタン、クロム、鉄、コバルト、ニッケル、銅、亜鉛、ニオブ、モリブデン、ルテニウム、パラジウム、ロジウム、銀、スズ、タンタル、タングステン、イリジウム、白金、金、鉛等の金属単体、若しくは、これらの合金が用いられ、更に、これらに圧電／電歪膜、あるいは、上記したセラミックス基体と同じ材料を分散させたサーメット材料を用いてもよい。

【0065】 圧電／電歪素子における電極膜の材料選定は、圧電／電歪膜の形成方法に依存することがある。例えば、図2に示す本発明の圧電／電歪膜型アクチュエータ21においては、セラミックス基体44上に下部の電極膜77を形成した後、その電極膜77の上に圧電／電歪膜79を焼成により形成する場合には、電極膜77には、その圧電／電歪膜79の焼成温度においても変化しない白金等の高融点金属を使用する必要がある。中間の電極膜73も同様である。しかし、圧電／電歪膜79を形成した後に、圧電／電歪膜79上に形成される上部の電

極膜 75 には、低温で電極膜形成を行うことが出来るので、アルミニウム、金、銀等の低融点金属を使用することも可能である。

【0066】 電極膜の厚さは、少なからず圧電／電歪素子の変位を低下させる要因ともなるので、例えば、図 2 に示す本発明の圧電／電歪膜型アクチュエータ 21 において、特に、圧電／電歪膜焼成後に形成する場合に、上部の電極膜 75 及び中間の電極膜 73 については、焼成後に緻密でより薄い膜が得られる有機金属ペースト、例えば、金レジネートペースト、白金レジネートペースト、銀レジネートペースト等の材料を用いることが好ましい。

【0067】 電極膜の厚さは、アクチュエータとして駆動させる変位量を確保するために薄いことが好ましい。通常は $15\ \mu\text{m}$ 以下で設計され、より好ましくは $5\ \mu\text{m}$ 以下である。従って、例えば、図 1 及び図 2 に示す圧電／電歪膜型アクチュエータ 11, 21 においては、全 5 層からなる圧電／電歪素子 78 の膜厚は、概ね $240\ \mu\text{m}$ 以下とすることが好ましく、より好ましくは $70\ \mu\text{m}$ 以下である。

【0068】 続いて、本発明の圧電／電歪膜型アクチュエータの製造方法について説明する。

本発明のアクチュエータは、各部材の構成材料をセラミックスとし、アクチュエータの各構成要素としては、セラミックス基体に対しては、グリーンシート積層法を用いて製造することが好ましく、一方、圧電／電歪素子に対しては、薄膜、厚膜等の膜形成法を用いて製造することが好ましい。圧電／電歪膜型アクチュエータのセラミックス基体を一体的に成形することが可能なグリーンシート積層法によれば、各部材の接合部の経時的な状態変化が殆ど生じないため、接合部位の信頼性が高く、且つ、剛性確保に容易な方法である。本発明の圧電／電歪膜型アクチュエータでは、セラミックス基体と圧電／電歪素子との接合信頼性はアクチュエータの特性を左右する非常に重要なポイントである。又、本方法は、生産性や成形性に優れるため、所定形状のアクチュエータを短時間に、再現性よく作製することも可能である。

【0069】 先ず、セラミックス積層体の製造方法について説明する。

酸化ジルコニウム等のセラミックス粉末にバインダ、溶剤、分散剤、可塑剤等

を添加混合してスラリーを作製し、これを脱泡処理後、リバースロールコーター法、ドクターブレード法等の方法により所定の厚さを有するグリーンシートを作製する。

【0 0 7 0】 そして、金型を用いた打ち抜き、レーザー加工等の方法により、グリーンシートを求められる種々の形状に加工する。

例えば、図 3 に示す圧電／電歪膜型アクチュエータ 2 1 では、主として焼成後に閉塞プレート 6 6 となるグリーンシート A と、長方形の開口部 7 6 を少なくとも 1 個形成され焼成後にスペーサプレート 7 0 となるグリーンシート B と、連通用孔部 7 2, 7 4 が少なくとも 1 個ずつ形成され焼成後に接続プレート 6 8 となるグリーンシート C が用意される。開口部 7 6 の形状は、すべて同一である必要はなく、所望の機能に応じて決定される。又、連通用孔部 7 2, 7 4 が外部空間と連通している限りにおいて、連通用孔部 7 2, 7 4 の形状は特に限定されず、例えば、インクジェットプリンタのプリンタヘッドのインクポンプとして用いる場合には、図 3 に示すように、連通用孔部 7 2, 7 4 毎に個別に外部空間と連通せしめる概ね開口断面が円形の孔部とする。

【0 0 7 1】 グリーンシート B において、開口部 7 6 を並列するように 1 列以上形成することにより複数個のアクチュエータを一度に得ることが可能となる。これらグリーンシート A, B, C を予め用意し、基板となる少なくとも 2 枚のグリーンシート A, C と、少なくとも 1 個の開口部 7 6 が形成された少なくとも 1 枚のグリーンシート B とを使用して、例えば、グリーンシート A とグリーンシート C との間に、少なくとも 1 個の開口部 7 6 が形成された少なくとも 1 枚のグリーンシート B とを積層して、グリーンシート積層体を調製すればよい。勿論、グリーンシート積層体の調製方法、詳細には、グリーンシート A, C と、前記少なくとも 1 個の孔部が形成されたグリーンシート B との積層順序には、特に制限がなく、通常は、積層体が後工程に影響を与えない限り、任意の順序で積層可能である。

【0 0 7 2】 例えば、グリーンシート A, B, C を順次重ね合わせた後に、圧着によりセラミックグリーン積層体を得る方法でもよく、又、グリーンシート A, B を重ね合わせ、圧着により一体化物を得た後に、この一体化物にグリーンシ

ートCを重ね合わせ、圧着によりグリーンシート積層体を得る方法でもよい。圧着は熱を加えることで、積層性を向上させることも有利に採用出来る。又、セラミックス粉末、バインダを主体としたペースト、スラリー等をグリーンシート上に塗布、印刷し、接合補助層とすることで、グリーンシート界面の積層性を向上出来るので望ましい。上記したセラミックス粉末は、好ましくは、グリーンシートに使用されたセラミックスと同一又は類似した組成が信頼性確保の点で望ましい。

これらはあくまでも例示として示したもので、本発明の製造法のすべてを示したのではなく、例えば、積層数が4以上の場合においても、圧着回数や順序は特に限定されず、グリーンシート積層体を用意する方法は、これらに限定されるものではない。

【0073】 得られたグリーンシート積層体を、焼成してセラミックス積層体を得る。グリーンシート積層体は、1200～1600℃程度の温度で焼成されるが、その焼成によって得られたセラミックス積層体が、意図しない反りを有したものとなる場合がある。その場合には、前記焼成温度と近い温度で、重しを載せて再焼成（以下、反り修正ともいう）して平坦化することが好ましい。この反り修正にあたっては、平坦なアルミナ等の多孔質なセラミック板を重しとして使用することが好ましい。又、反り修正においては、焼成に引き続いた形で実施する他、焼成時に重しを予め載せて、焼成と同時に平坦化する方法も好ましい。

【0074】 尚、グリーンシート積層体を焼成せずに、後述する膜形成法によってグリーンシート積層体上に圧電／電歪素子を形成して、その後に焼成する手順であっても構わない。しかしながら、圧電／電歪素子を形成する前に、予め焼結してセラミックス積層体としておいた方が、より寸法精度が高まり、圧電／電歪素子の反りを抑えることが出来るため、好ましい。

【0075】 続いて、圧電／電歪素子の製造方法について説明する。

本発明の製造方法においては、セラミックス積層体の表面にスクリーン印刷法、ディッピング法、塗布法、電気泳動堆積法等の厚膜形成法、又は、イオンビーム法、スパッタリング法、真空蒸着、イオンプレーティング法、化学気相蒸着法（CVD）、メッキ等の薄膜法により圧電／電歪素子を形成することが出来る。

そして、上記した膜形成法が1層当たり1回だけでなく複数回施されて、圧電／電歪素子を構成する圧電／電歪膜及び電極膜を形成することも好ましい。

【0076】 こうして圧電／電歪素子を膜形成法によって形成することにより、接着剤を用いることなく圧電／電歪素子とセラミックス基体とを一体的に接合、配設することが出来、信頼性、再現性を確保し、集積化を容易とすることが出来る。但し、本発明の製造方法においては、圧電／電歪膜は、厚膜形成法により形成することが好ましい。これらの手法によれば、平均粒径0.01～5 μ m、好ましくは0.05～3 μ mの圧電セラミックスの粒子を主成分とするペーストやスラリー、又は、サスペンションやエマルション、ゾル等を用いて圧電／電歪膜を形成することが出来、良好な作動特性が得られるからである。

【0077】 特に、電気泳動堆積法は、膜を高い密度で、且つ、高い形状精度で形成出来るという利点があり、圧電／電歪膜の形成には好適である。又、技術文献「「DENKI KAGAKU」、53、No. 1（1985）P63～P68、安斎和夫著」に記載されているような特徴を有するので、要求精度や信頼性等を考慮して、適宜、手法を選択して用いるとよい。電気泳動堆積法における好ましい条件として、例えば、特開平6-63914号公報に開示されている、電気泳動させる対象であるスラリーを調製するのに、リン酸エステル系界面活性剤を添加した溶媒にセラミックスの原料粒子を分散させ固形分濃度の高いスラリーを得る方法が知られている。このようなスラリーを用いた電気泳動堆積法によれば、高い電圧でなくとも膜を形成することが出来、より低コストで製造出来る。

【0078】 又、一方、スクリーン印刷法は、膜形成とパターン形成とを同時に出来るため、やはり本発明の製造方法として好ましく採用される。

本発明においては、圧電／電歪素子のうち、圧電／電歪膜の形成手法として、例えば、初回にスクリーン印刷法を用い、2回目以降に電気泳動堆積法を用いるといった方法も好適に用いられる。

【0079】 より具体的には、図2に示す本発明の圧電／電歪膜型アクチュエータ21により説明すれば、グリーンシート積層体を所定条件、好ましくは、1200℃～1600℃の温度で焼成した後に、得られたセラミックス積層体の表

面の所定位置に下部の電極膜 77 を印刷し、好ましくは $1250^{\circ}\text{C} \sim 1450^{\circ}\text{C}$ の温度で焼成し、次いで、圧電／電歪膜 79 を印刷し、更に、中間の電極 73 を印刷してから、好ましくは次に印刷する圧電／電歪膜 79 の焼成温度より $0^{\circ}\text{C} \sim 300^{\circ}\text{C}$ 低い温度で焼成して、又、更に、圧電／電歪膜 79 を印刷し、好ましくは $1100^{\circ}\text{C} \sim 1350^{\circ}\text{C}$ の温度で焼成し、上部の電極 75 を印刷し、好ましくは $500^{\circ}\text{C} \sim 900^{\circ}\text{C}$ の温度で焼成して圧電／電歪素子 78 を形成することが出来る。この後に、電極膜を駆動回路に接続するための電極リードを印刷、焼成すればよい。

【0080】 尚、最初の（下部の）圧電／電歪膜 79 の印刷～中間の電極 73 の印刷～焼成の間を繰り返す繰り返し工程を m 回行うことによって、圧電／電歪膜型アクチュエータ 21 が 2 層の圧電／電歪膜 79 を有するのに対して、 $m+1$ 層の圧電／電歪膜 79 を有する圧電／電歪膜型アクチュエータを形成することも可能である。このとき、中間の電極 73 の印刷後の焼成温度 T_{m1} は、繰り返し工程を終えた後に、最後に（上部に）形成される圧電／電歪膜 79 の焼成温度 T_{m2} より $0^{\circ}\text{C} \sim 300^{\circ}\text{C}$ 低い温度であることが好ましい。

これは、最後に（上部に）形成された圧電／電歪膜 79 が焼成温度 T_{m2} で 1 回だけ焼成されるのに対し、中間に形成したの圧電／電歪膜 79 は焼成温度 T_{m1} で何回か焼成された後に焼成温度 T_{m2} で 1 回焼成されるので、焼成温度 T_{m1} を焼成温度 T_{m2} より低い温度にすることによって、各圧電／電歪膜の焼成度合いを揃えることが出来るからである。

【0081】 又、 n ($n \geq 2$) 回目に形成される圧電／電歪膜の厚さ t_n が、次式、

$$t_n \leq t_{n-1} \times 0.95$$

を満たす厚さとすることも好ましい。

【0082】 このように、徐々に薄い圧電／電歪膜を形成しながら積層することによって、上部に形成される圧電／電歪膜の方が、下部に形成される圧電／電歪膜より大きく歪むようにすることが出来、曲げ効率を高め、屈曲変位をより有効に発現することが出来るからである。

【0083】 又、適当な材料を選択することにより、圧電／電歪素子の各電極

膜及び圧電／電歪膜と電極リードを逐次印刷した後に、1回で一体焼成することも可能であり、一方、圧電／電歪膜を形成した後に低温で各電極等を設けることも出来る。材料を選択することによって、圧電／電歪膜又は／及び電極膜の焼成は、最初の電極膜を形成した後から、最後の電極膜を形成した後の間において、上記に記載した例によらず任意のときに所望の回数行うことが可能である。

【0084】 又、グリーンシート積層体に、予め圧電／電歪素子を形成しておき、グリーンシート積層体と圧電／電歪素子とを同時焼成することも好ましい。同時焼成にあたっては、圧電／電歪素子の全構成膜と行うことでもよく、又、下部の電極とグリーンシート積層体のみを同時焼成する方法や、あるいは、上部の電極を除く他の構成膜とグリーンシート積層体とを同時焼成する方法等、種々の方法が挙げられる。圧電／電歪素子とグリーンシート積層体とを同時焼成する方法としては、金型を用いたプレス成形法、あるいは、スラリー原料を用いたテープ成形法等によって圧電／電歪膜を成形し、この焼成前の圧電／電歪膜をグリーンシート積層体に熱圧着等で積層し、同時に焼成してセラミックス基体と圧電／電歪膜とを同時に作製する方法が挙げられる。但し、この方法においては、上記した膜形成法を用いて、圧電／電歪膜に予め電極を形成しておく必要がある。又、グリーンシート積層体にスクリーン印刷により圧電／電歪素子の各構成層である電極及び圧電／電歪膜を形成し、同時に焼成することも出来る。

【0085】 圧電／電歪膜の焼成温度は、これを構成する材料によって適宜定められるが、一般には、800℃～1400℃であり、好ましくは1100℃～1350℃である。この場合、圧電／電歪膜の組成を制御するために、圧電／電歪膜の材料の蒸発源の存在下に焼結することが好ましい。尚、圧電／電歪膜とグリーンシート積層体を同時焼成する場合には、両者の焼成条件を統一することが必要である。

【0086】 尚、本発明の圧電／電歪膜型アクチュエータは、上記したグリーンシートを用いた作製方法の他に、成形型を用いた加圧成形法や鋳込成形法、射出成形法やフォトリソグラフィ等を用いて作製することも可能である。又、別体として準備された各構成要素たる部材を接合して作製する方法も可能であるが、生産性が低いことに加えて、接合部における破損等の問題が生じ易いことから信

頼性の面でも問題がある。

【 0 0 8 7 】

【発明の効果】 本発明によれば、従来の圧電／電歪アクチュエータの問題点を解決することが出来る。即ち、接着剤を用いて積層した構造を持たず、容易に高集積化が可能であり、同一駆動電圧で、より大きな変位が得られ、応答速度が速く、発生力が大きい、優れた圧電／電歪膜型アクチュエータが提供される。

この圧電／電歪膜型アクチュエータは、変位制御素子、個体素子モータ、インクジェットヘッド、リレー、スイッチ、シャッター、ポンプ、フィン等として利用することが出来、特にインクジェットプリンタに用いられるプリントヘッドのインクポンプとして好適に利用することが出来る。

【図面の簡単な説明】

【図 1】 本発明の圧電／電歪膜型アクチュエータの一の実施態様を示す断面図である。

【図 2】 本発明の圧電／電歪膜型アクチュエータの他の実施態様を示す断面図である。

【図 3】 本発明の圧電／電歪膜型アクチュエータの構造を説明するための分解斜視図である。

【図 4】 従来のアクチュエータの他の一例を示す断面図である。

【図 5】 従来のアクチュエータの他の一例を示す図で、図 4 の A A' 断面図である。

【図 6】 本発明の圧電／電歪膜型アクチュエータの更に他の実施態様を示す断面図である。

【図 7】 本発明の圧電／電歪膜型アクチュエータの更に他の実施態様を示す断面図である。

【図 8】 本発明の圧電／電歪膜型アクチュエータの一実施態様を示す図であり、圧電／電歪膜の短手方向から見た断面図である。

【図 9】 本発明の圧電／電歪膜型アクチュエータの他の一実施態様を示す図であり、圧電／電歪膜の短手方向から見た断面図である。

【図 1 0】 本発明の圧電／電歪膜型アクチュエータの更に他の一実施態様を示

す図であり、圧電／電歪膜の短手方向から見た断面図である。

【図 1 1】 本発明の圧電／電歪膜型アクチュエータの更に他の一実施態様を示す図であり、圧電／電歪膜の短手方向から見た断面図である。

【図 1 2】 本発明の圧電／電歪膜型アクチュエータの更に他の一実施態様を示す図であり、圧電／電歪膜の短手方向から見た断面図である。

【図 1 3】 本発明の圧電／電歪膜型アクチュエータの更に他の一実施態様を示す図であり、圧電／電歪膜の短手方向から見た断面図である。

【図 1 4】 本発明の圧電／電歪膜型アクチュエータの更に他の一実施態様を示す図であり、圧電／電歪膜の短手方向から見た断面図である。

【図 1 5】 本発明の圧電／電歪膜型アクチュエータの更に他の一実施態様を示す図であり、圧電／電歪膜の短手方向から見た断面図である。

【図 1 6】 本発明の圧電／電歪膜型アクチュエータの更に他の一実施態様を示す図であり、圧電／電歪膜の短手方向から見た断面図である。

【図 1 7】 本発明の圧電／電歪膜型アクチュエータの更に他の一実施態様を示す図であり、圧電／電歪膜の短手方向から見た断面図である。

【図 1 8】 本発明の圧電／電歪膜型アクチュエータの更に他の一実施態様を示す図であり、圧電／電歪膜の短手方向から見た断面図である。

【図 1 9】 本発明の圧電／電歪膜型アクチュエータの更に他の一実施態様を示す図であり、圧電／電歪膜の短手方向から見た断面図である。

【図 2 0】 本発明の圧電／電歪膜型アクチュエータの更に他の一実施態様を示す図であり、圧電／電歪膜の短手方向から見た断面図である。

【図 2 1】 本発明の圧電／電歪膜型アクチュエータの更に他の一実施態様を示す図であり、圧電／電歪膜の短手方向から見た断面図である。

【図 2 2】 本発明の圧電／電歪膜型アクチュエータの更に他の一実施態様を示す図であり、圧電／電歪膜の短手方向から見た断面図である。

【図 2 3】 本発明の圧電／電歪膜型アクチュエータの更に他の一実施態様を示す図であり、圧電／電歪膜の短手方向から見た断面図である。

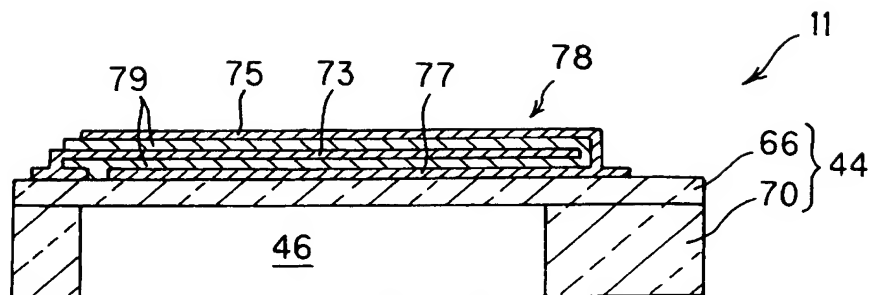
【符号の説明】

1 1, 2 1, 7 1, 8 1, 1 4 5…圧電／電歪膜型アクチュエータ、4 4, 1 4

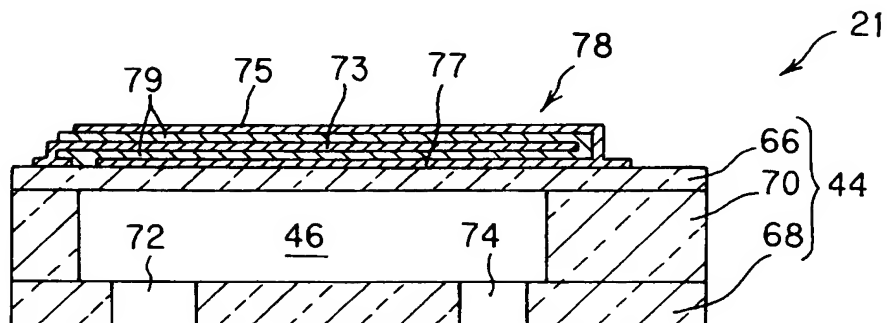
4…セラミックス基体、46, 146…キャビティ、66, 166…閉塞プレート、68, 168…接続プレート、70, 170…スペーサプレート、72, 74…連通用孔部、73, 75, 77…電極膜、76…開口部、78, 178…圧電／電歪素子、79…圧電／電歪膜、108～123…圧電／電歪膜型アクチュエータ、140…インクジェットプリントヘッド、142…インクノズル部材、150…オリフィスプレート、154…ノズル孔、156…通孔、158…オリフィス孔、172…第一の連通用孔部、174…第二の連通用孔部、176…窓部。

【書類名】 図面

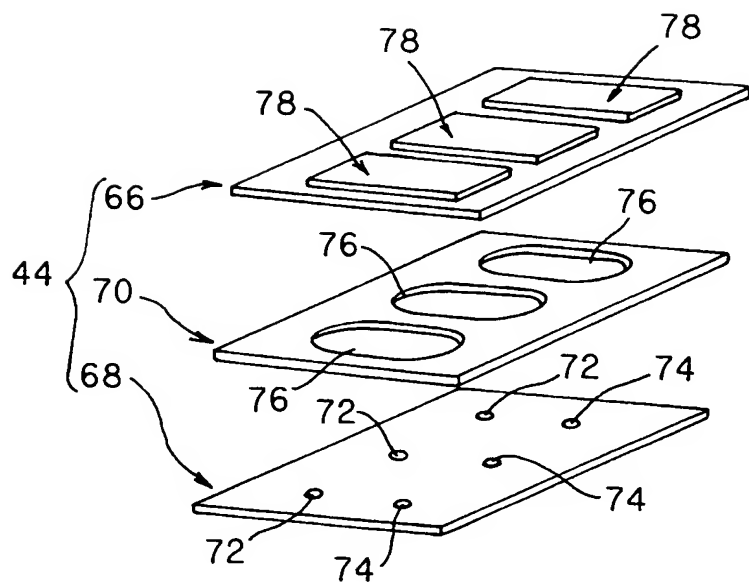
【図 1】



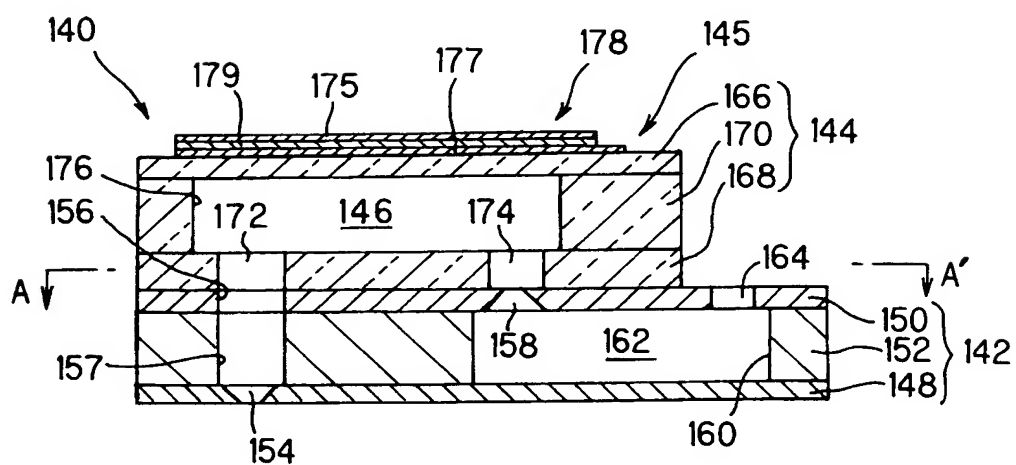
【図 2】



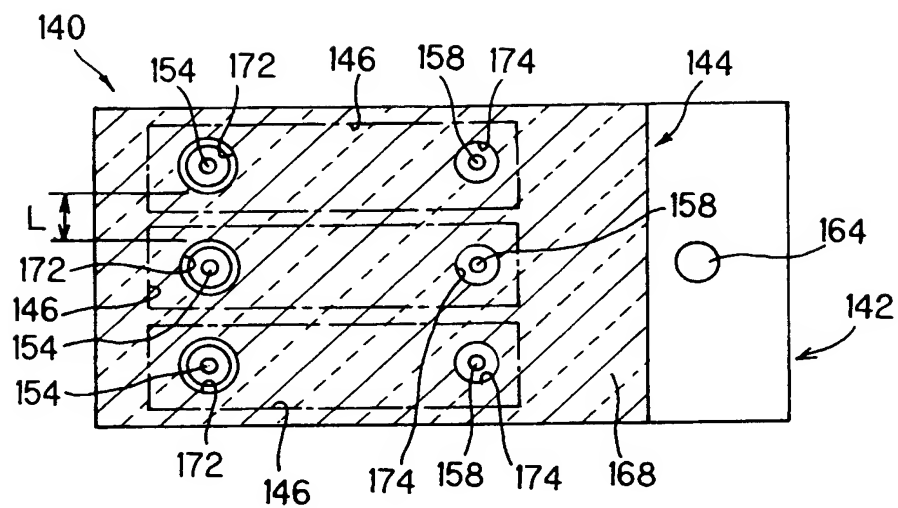
【図 3】



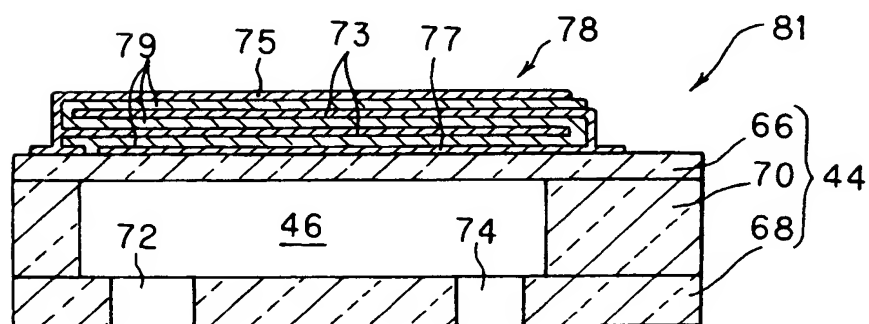
【図 4】



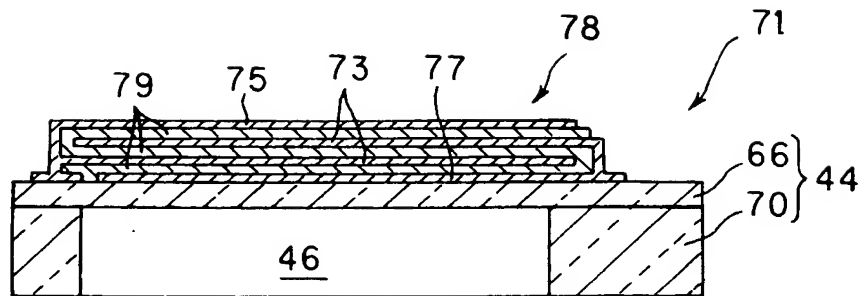
【図 5】



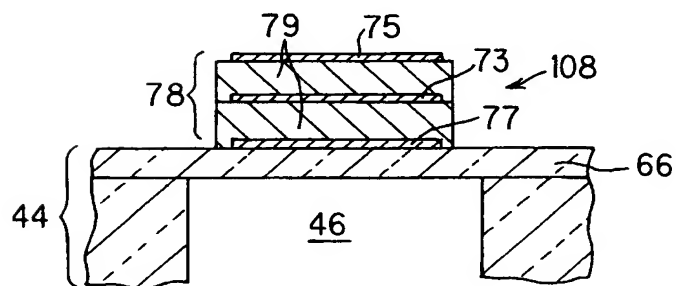
【図 6】



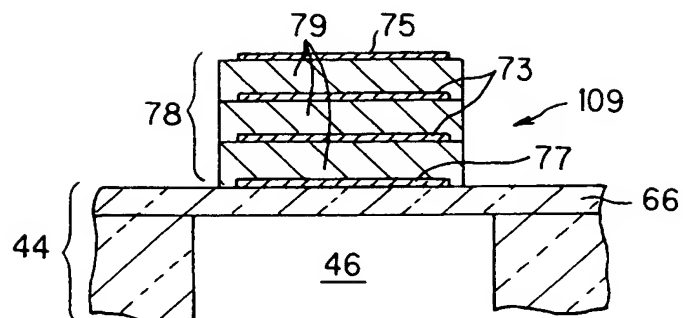
【図 7】



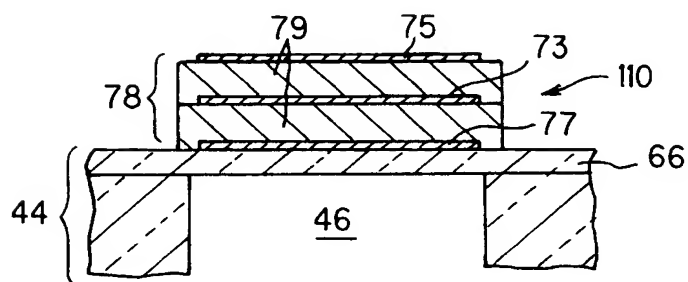
【図 8】



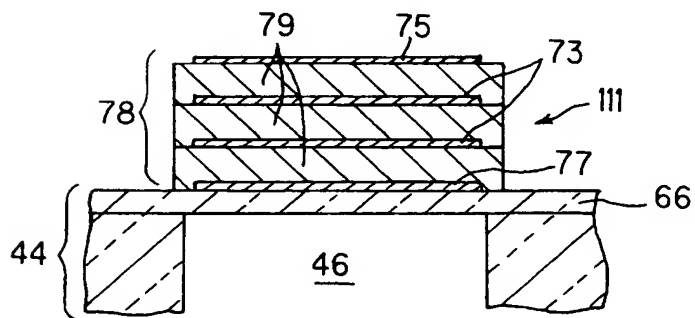
【図 9】



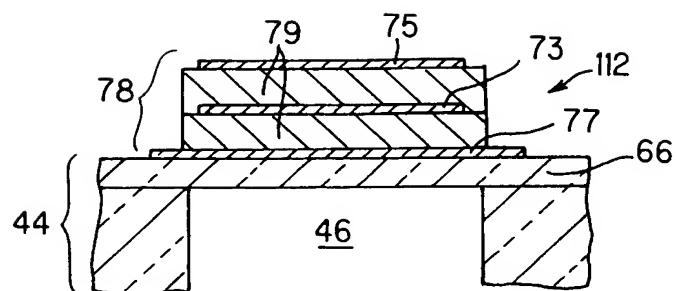
【図 10】



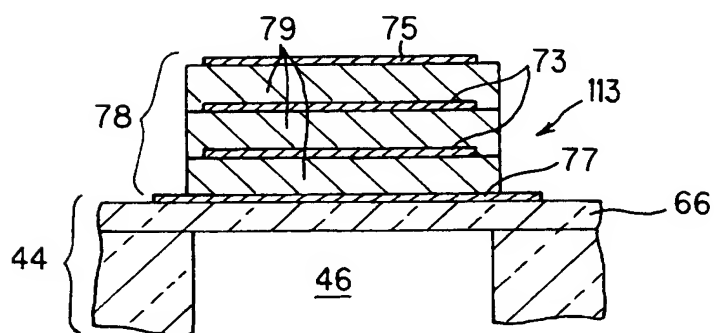
【図 11】



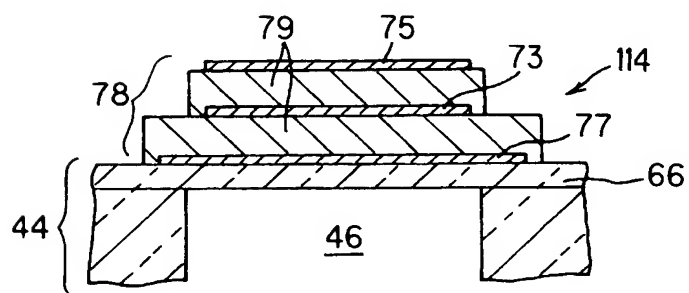
【図 1 2】



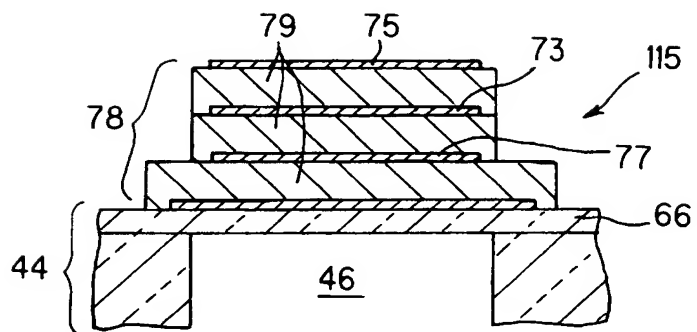
【図 1 3】



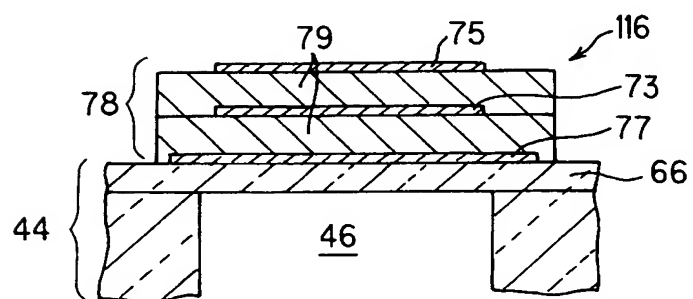
【図 1 4】



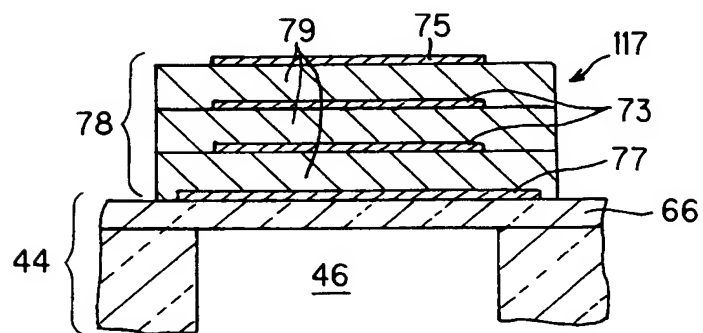
【図 15】



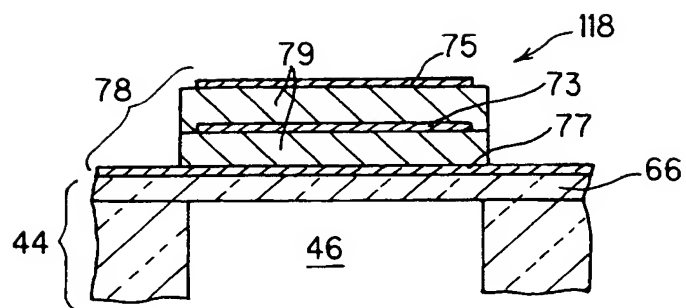
【図 16】



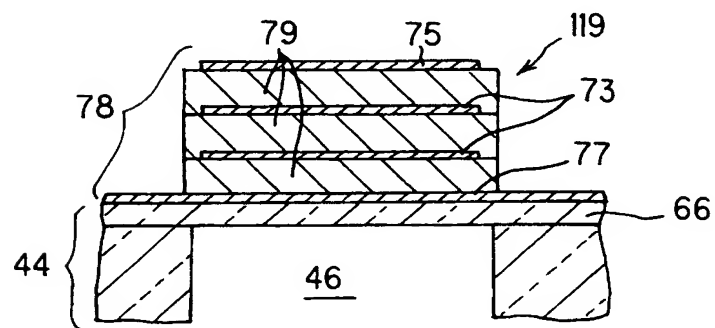
【図 17】



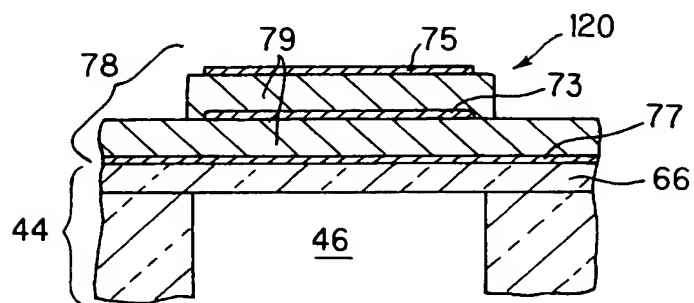
【図 18】



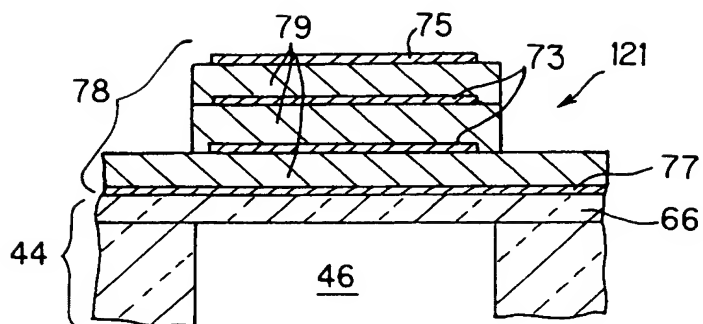
【図 19】



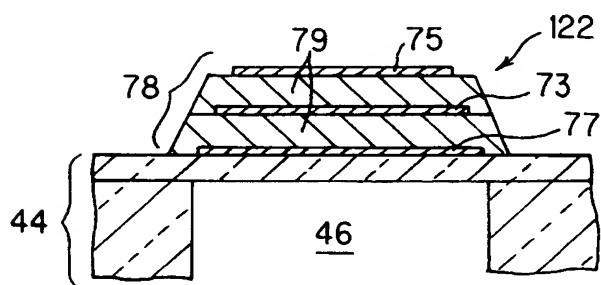
【図 20】



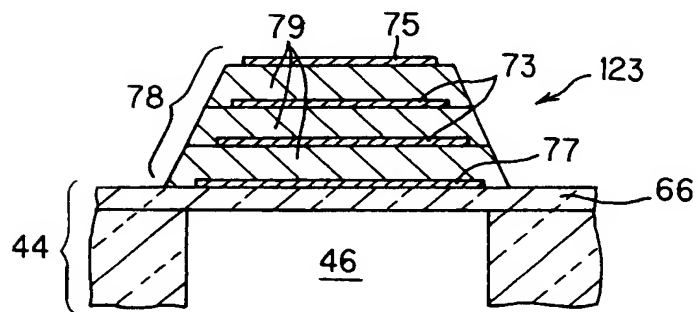
【図 2 1】



【図 2 2】



【図 2 3】



【書類名】 要約書

【要約】

【課題】 接着剤を用いて積層した構造を持たずに、容易に高集積化が可能であり、同一駆動電圧で、より大きな変位が得られ、応答速度が速く、発生力が大きい、優れた圧電／電歪膜型アクチュエータと、その製造方法を提供すること。

【解決手段】 セラミックス基体 4 4 と、セラミックス基体 4 4 上に設けられ、圧電／電歪膜 7 9 と電極膜 7 3, 7 5, 7 7 とからなる圧電／電歪素子 7 8 とを備え、圧電／電歪素子 7 8 の変位により駆動する圧電／電歪膜型アクチュエータ 1 1 であって、圧電／電歪素子 7 8 は、その最上層及び最下層が電極膜になるように、圧電／電歪膜 7 9 と電極膜 7 3, 7 5, 7 7 とが交互に積層されてなり、圧電／電歪膜 7 9 を複数層有することを特徴とする圧電／電歪膜型アクチュエータ 1 1 の提供による。

【選択図】 図 1

特願 2 0 0 1 - 0 6 8 6 7 3

出 願 人 履 歴 情 報

識別番号

[0 0 0 0 0 4 0 6 4]

1 . 変更年月日

1 9 9 0 年 8 月 2 4 日

[変更理由]

新規登録

住 所

愛知県名古屋市瑞穂区須田町 2 番 5 6 号

氏 名

日本碍子株式会社